



XVII ERIAC
DECIMOSÉPTIMO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

21 al 25 de mayo de 2017



B1-CABLES AISLADOS

FALLAS EN TERMINALES TERMOCONTRAÍBLES DE MEDIA TENSIÓN

L. CATALANO*
IITREE-FI-UNLP
Argentina

P. MORCELLE del VALLE
IITREE-FI-UNLP
Argentina

R. E. ALVAREZ
IITREE-FI-UNLP
Argentina

E. CALO
IITREE-FI-UNLP
Argentina

Resumen – Esta publicación presenta la experiencia del IITREE en el análisis de diferentes fallas de terminales termocontraíbles de cables de media tensión. Se describe la metodología y procedimiento del desarme forense de los terminales. A la vez, se realiza la evaluación del estado en que fueron encontrados los componentes de los mismos durante la búsqueda de evidencias de las causas de falla. Finalmente se presentan comentarios y conclusiones referidas a las hipótesis de falla y recomendaciones generales para su mitigación.

Palabras clave: Terminal – Cable – Falla – Aislamiento – Pericia – Desarme

1 INTRODUCCIÓN

Los cables de media tensión empleados en la industria y en los sistemas de distribución deben operar en condiciones de confiabilidad aceptable. Las tareas de mantenimiento sobre este tipo de elementos son limitadas, y en algunos casos prácticamente nulas. Es por ello que en las tareas de instalación y ejecución de accesorios (empalmes y terminales) deben extremarse las condiciones de cuidado y calidad de trabajo.

La facilidad de construcción de terminales del tipo termocontraíble es una ventaja auspiciosa pero también permite que personal poco calificado y sin criterio eléctrico, ejecute las tareas. Es así que se encuentran numerosas fallas que afectan la calidad del servicio eléctrico por defectos de confección de los terminales.

En esta publicación se presentan los puntos sensibles de la construcción de los terminales y se muestran ejemplos de las consecuencias de un procedimiento incorrecto.

2 SOLICITACIONES DIELECTRICAS EN TERMINALES DE MT

2.1 Solicitaciones dieléctricas en el corte de la pantalla exterior

En el corte de un cable aislado, el esfuerzo dieléctrico que antes soportaba correctamente el aislamiento sólido, es aplicado también al aire. En consecuencia, esta solicitud no puede ser soportada por el aire y se debe diseñar un terminal de manera de aumentar la línea de fuga entre la pantalla externa y el conductor. El terminal se prepara dejando una parte sin pantalla y sin su capa semiconductora; cabe resaltar que la pantalla y la capa semiconductora externa tienen el mismo potencial. La longitud del aislamiento desnudo dependerá de la tensión del cable y de las condiciones ambientales del medio donde se lo instalará.

Este diseño de los terminales es exitoso en evitar el contorno del terminal, sin embargo no puede evitarse que exista una alta concentración de campo eléctrico en el extremo de la pantalla. Esta alta concentración de campo puede generar la degradación del dieléctrico por descargas parciales. Existen varias alternativas para el control del campo en la zona del corte de la capa semiconductora. En terminales de MT extruidos se suele utilizar un tubo que es llamado *de control de campo* que logra una distribución más homogénea del campo

* L. Catalano, IITREE-FI-UNLP, calle 48 y 116, B1900AMF, La Plata, Argentina – lcatalano@iitree-unlp.org.ar

eléctrico. En las Fig. 1 y 2 obtenidas por simulación por el método de los elementos finitos se pueden observar dos terminales: uno sin tubo de control de campo y otro con él, respectivamente. En ellas se aprecia cómo las líneas equipotenciales se encuentran menos concentradas cuando se coloca el tubo de control de campo. El tubo está simulado con un material de alta constante dieléctrica, logrando un *control capacitivo de la tensión*. También existen tubos de alta resistencia eléctrica, desarrollando un *control resistivo del potencial* [1].

A pesar de las mejoras introducidas con la utilización del tubo de control de campo, el punto más crítico en los terminales sigue siendo el corte de la pantalla y de la capa semiconductora. Los fabricantes suelen indicar que la capa semiconductora se extienda más allá de la pantalla y que sobre ella se coloque el tubo de control de campo; esto permite que la unión de los materiales sea bien ajustada evitando cavidades de aire en esta zona de alta concentración de campo eléctrico. Además se provee una cinta autovulcanizante o masilla del mismo material del tubo de control de campo que se coloca en el corte de la capa semiconductora. Esta última cinta enmascara los posibles defectos del corte de la semiconductora, rellenando cualquier eventual intersticio. Debe tenerse en cuenta que un corte defectuoso de esta capa generará una concentración de campo por efecto de punta.

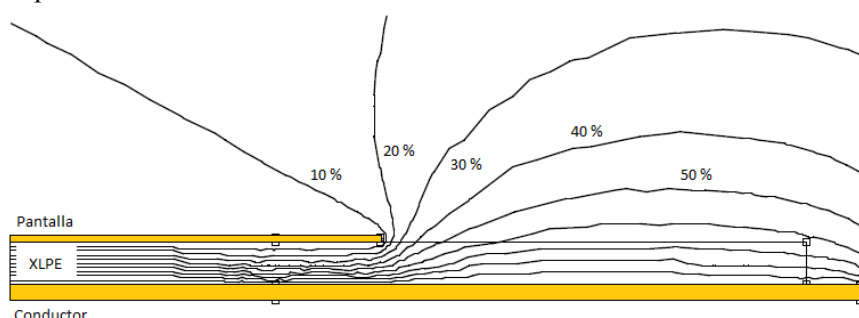


Fig. 1. Líneas equipotenciales en un terminal sin tubo de control de campo

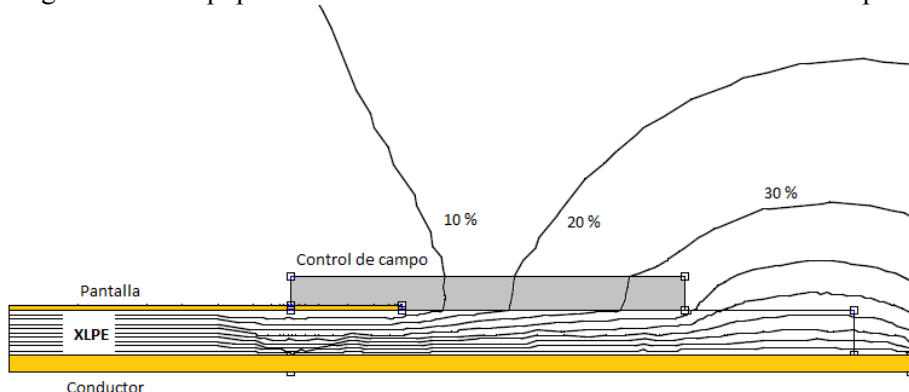


Fig. 2. Líneas equipotenciales en un terminal con tubo de control de campo

2.2 Solicitación longitudinal y tubo externo

Otro punto sensible es la estanqueidad del terminal. Los fabricantes proveen sellos antihumedad los cuales se colocan en las puntas del terminal, próximo al terminal metálico. El ingreso de humedad afecta directamente la rigidez dieléctrica longitudinal del terminal [2]. El material utilizado para el tubo exterior posee mejores propiedades anti-tracking que el XLPE y está diseñado para soportar las solicitaciones dieléctricas longitudinales incluso con humedad o lluvia, si es exterior. En este último caso se incorporan aletas que aumentan la línea de fuga. Para que las aletas cumplan su función deben estar colocadas en la posición correcta sin que quede espacio entre el cuerpo del terminal y la aleta; de otra manera el arco eléctrico se propagará por ese espacio dejando inútil la aleta y reduciendo la línea de fuga.

3 FABRICACIÓN DE TERMINALES DE MT Y MATERIALES UTILIZADOS

En los estudios de falla que se presentan en este trabajo se asume que tanto los materiales utilizados como las instrucciones (procedimientos y dimensiones) para la construcción de los terminales son los adecuados. Lo mencionado se basa en que en todos los casos analizados en el IITREE, los kits para la confección de los mismos fueron provistos por fabricantes de reconocida experiencia en el rubro, por lo cual se descartan

defectos inherentes a los materiales o procedimientos de construcción. Además, como se verá, las evidencias de falla confirman esta hipótesis.

Constructivamente, este tipo de terminales tienen los siguientes elementos:

a) Tubo de control de campo

Uniformiza la distribución del campo eléctrico en el aislamiento principal del cable. El tubo de control es de características termocontraíbles y con un alto valor de constante dieléctrica (aproximadamente 30); de esta manera ecualiza el campo en forma capacitiva.

b) Cinta/masilla semiconductor

Del mismo material semiconductor que el tubo, pero en con características maleables, se coloca en la interface semiconductor externa-aislamiento principal, cubriendo los intersticios que el tubo de control de campo no lograría eliminar.

c) Abrazadera de fuerza constante

Esta abrazadera vincula eléctricamente la pantalla del cable con un fleje o malla que se conecta a la tierra del sistema.

d) Cinta/masilla selladora

Su función es la de evitar el ingreso de humedad y contaminación externa al aislamiento interno del terminal.

e) Tubo externo

El tubo es de material termocontraíble. En los casos que no se utiliza tubo termocontraíble de control de campo, sobre la superficie interna del tubo externo se encuentra dispuesta una capa de material semiconductor (en base a compuestos de cinc, según lo indicado por los fabricantes) que cumple la función de uniformizar la distribución del campo eléctrico en forma resistiva. Una vez colocado el tubo por la acción del calor, este material semiconductor debe quedar fuertemente adherido al aislamiento principal del cable.

Las Fig. 3 y 4 muestran algunas formas de preparar el extremo del cable para la construcción del terminal, según diversos fabricantes y de acuerdo a los distintos tipos de cable. Las dimensiones **X**, **L**, **S** y **P** son indicadas por cada fabricante según el tipo de cable, el diseño del terminal, la tensión de servicio y el tipo de terminal metálico.

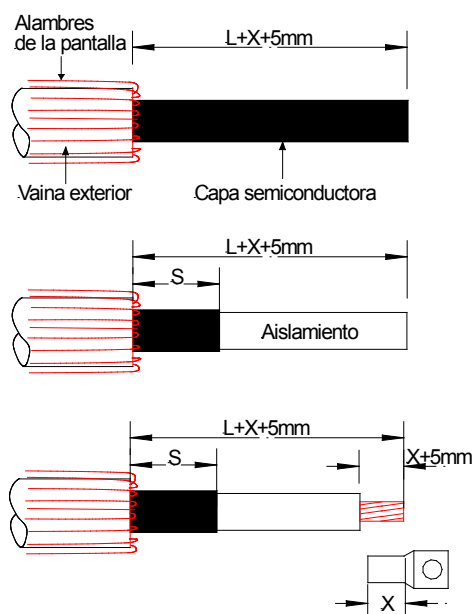


Fig. 3. Etapas de preparación para un cable con pantalla de alambres

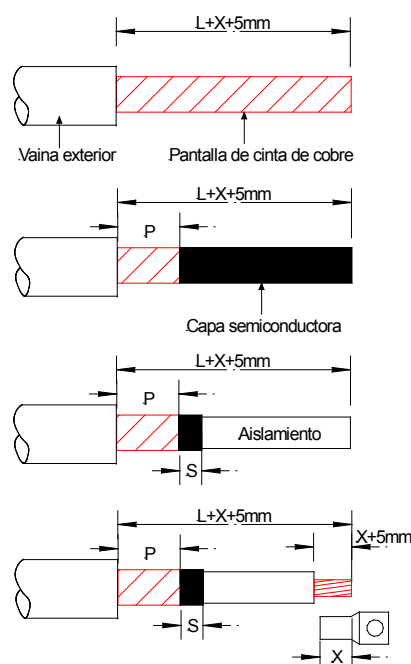


Fig. 4. Etapas de preparación para un cable con pantalla de cinta

La Fig. 5 muestra detalles y dimensiones a tener en cuenta según los fabricantes para la aplicación de la cinta o masilla semiconductor en terminales con tubo de control de campo y para la conexión a tierra de la pantalla cuando ésta es de cinta de cobre.

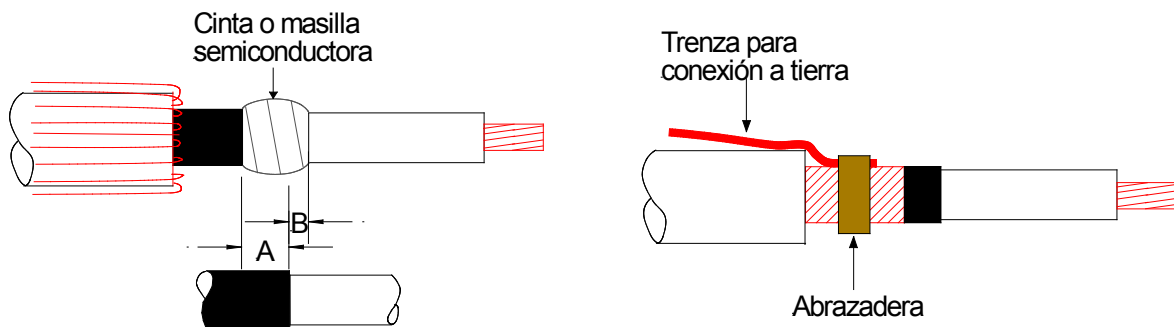


Fig. 5. Colocación de cinta o masilla semiconductor y trenza de puesta a tierra

4 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE DESARME DE LOS TERMINALES

En los párrafos que siguen se describen las actividades de desarme de los terminales afectados por fallas. Se incluye desde la información brindada por el usuario de las instalaciones donde se encontraban montados los terminales hasta las instrucciones de montaje de los fabricantes, incluido el estado de los elementos al momento del desarme.

4.1 Información provista por el usuario

Resulta relevante la información que pueda proveer el usuario de la instalación donde se encontraban los terminales. Las características de los cables sobre los que se hallaban montados los elementos, la descripción del evento de falla, el tiempo en servicio de los terminales, cualquier anomalía detectada en la instalación durante el servicio y toda información por insignificante que pueda resultar en primera instancia contribuyen a elaborar el escenario para determinar las causas de falla.

4.2 Estado de los terminales antes del desarme

La inspección visual previa al desarme permite detectar la marca y modelo del terminal, verificar las características del cable sobre el que se halla montado, observar signos externos de la falla, entre otras particularidades del elemento bajo estudio.

4.3 Desarme y observación del estado interno del terminal

El desarme propiamente dicho se inicia efectuando cortes longitudinales de las diferentes capas que conforman el conjunto terminal-cable, con el objeto de retirar cada capa en forma secuencial. Estos cortes deben realizarse cuidadosamente de manera de afectar en la menor medida posible los componentes. A medida que se retira cada capa, se realiza la observación del estado interno, verificando la disposición constructiva y las dimensiones de los diferentes elementos con referencia a la información del fabricante. Durante esta operación debe observarse la calidad de la confección, detectando cortes irregulares en la semiconductor externa, calentamiento deficiente de los elementos termocontraíbles, adecuada adherencia de los materiales según cada caso, aplicación de las masillas de control de campo y selladoras, cortes en el aislamiento principal del cable, y cualquier otro defecto que pueda afectar el correcto funcionamiento del terminal.

5 CASOS DE ESTUDIO

A continuación se ejemplifica el procedimiento descrito en el apartado 4 citando diversos casos reales analizados en el IITREE. A modo de ilustración, se muestran fotos representativas de las actividades enunciadas en el presente estudio. En dichas fotos se detallan las observaciones efectuadas y las anomalías detectadas.

Los casos expuestos corresponden a terminales con tubo externo recubierto internamente con material semiconductor y con tubo termocontraíble de control de campo.

5.1 Inspección visual previa al desarme

Las Fig. 6 a 9 muestran algunos terminales listos para la inspección visual previa al desarme. Se observa en las Fig. 7 y 8 evidencias de falla.

Externamente, todos los tipos de terminal termocontraíble son similares, no siendo posible determinar de qué tipo se trata antes de iniciar el desarme; por lo cual las fotos muestran indistintamente diversos tipos de elemento.



Fig.6



Fig. 7



Fig. 8



Fig. 9

Algunos terminales listos para la inspección visual

5.2 Inicio del desarme de terminales

Las Fig. 10 y 11 muestran el inicio del desarme de algunos terminales con material semiconductor en la superficie interna del tubo exterior. Se observan los cortes realizados en el tubo exterior y el retiro de dicho tubo.



Fig. 10



Fig. 11

Corte y retiro del tubo exterior

Una vez retirado el tubo exterior es posible observar el grado de adherencia del material semiconductor al aislamiento principal del cable. En las Fig. 12 y 13 se aprecia la defectuosa adherencia de dicho material.



Fig. 12



Fig. 13

Adherencia defectuosa del material semiconductor al aislamiento del cable

La Fig. 14 muestra el retiro del tubo exterior durante el inicio del desarme de un terminal con tubo termocontraíble de control de campo. La Fig. 15 muestra el tubo de control de campo ya retirado.

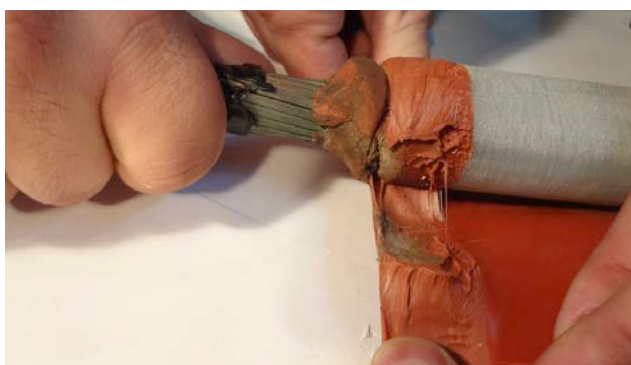


Fig. 14. Retiro del tubo exterior



Fig. 15. Tubo de control de campo ya retirado

La Fig. 14 muestra, además, que el conductor no se encuentra adecuadamente sellado mediante la masilla correspondiente en el extremo del terminal, dando lugar a la posibilidad de entrada de humedad a través de los intersticios de los alambres de cobre. Se pudo comprobar en este caso, que la desprotección del conductor fue consecuencia de la incorrecta lectura de las dimensiones del plano por parte del personal encargado de la construcción del terminal y, consecuentemente, una defectuosa ejecución.

Por otra parte, la Fig. 15 muestra que la zona del aislamiento principal se encuentra lijada. El proceso de lijado está contemplado en los instructivos de los fabricantes con el objeto de eliminar pequeñas imperfecciones. Este lijado debe ser suave para evitar filos y puntas en la superficie del aislamiento; las Fig. 14 y 15 muestran que el lijado efectuado en este caso dejó como resultado gruesas rayas en la superficie.

En las Fig. 16 y 17 se observa el corte defectuoso del extremo de la capa semiconductora externa en dos casos diferentes. En la Fig. 16 se aprecia el estado de degradación del aislamiento en las proximidades de dicha capa, mientras que en la Fig. 17 se ve que el material de la masilla de control de campo se encuentra degradado y carbonizado. Estos efectos son consecuencia probable de la actividad de descargas parciales en esa zona como resultado de los defectos mencionados.



Fig. 16. Extremo de la capa semiconductora defectuosa y degradación del aislamiento



Fig. 17. Extremo de la capa semiconductora defectuosa y degradación de la masilla

Las Fig. 18 y 19 presentan las consecuencias debidas también a la actividad de descargas parciales en la superficie del aislamiento que resultaron en la aparición de cenizas y degradación de los materiales. La Fig. 18 muestra restos de ceniza y material carbonizado entre la masilla de control de campo y la capa semiconductora externa.

La Fig. 19 muestra que la zona del aislamiento principal del cable posee un aspecto amarillento, encontrándose restos de polvo blanco indicativo de presencia de descargas parciales. Sobre el aislamiento principal se detectaron cortes longitudinales, presumiblemente realizados al remover la capa semiconductora externa durante la ejecución del terminal; este efecto sumado a la defectuosa adherencia del material semiconductor del tubo externo y el excesivo lijado de la superficie del aislamiento pudieron haber dado lugar a las mencionadas descargas.



Fig. 18. Material carbonizado y cenizas entre la masilla y la semiconductora externa

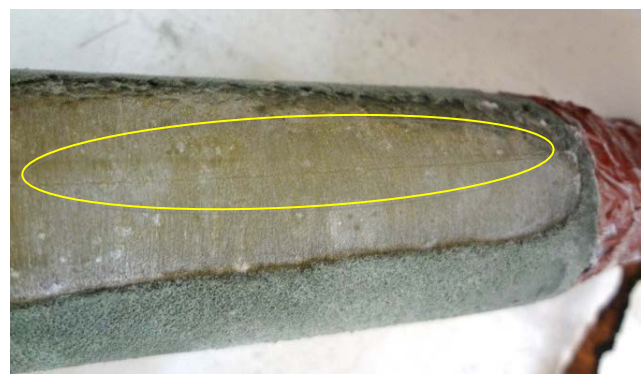


Fig. 19. Marca longitudinal sobre el aislamiento principal

6 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Este trabajo presenta la experiencia del IITREE en el análisis de diferentes fallas de terminales termocontraíbles de cables de media tensión.

Es posible observar que las fallas analizadas están relacionadas fundamentalmente con una ejecución incorrecta durante el armado de los terminales.

Como se indicó en el desarrollo del presente trabajo, entre las deficiencias más comunes en la construcción de este tipo de terminales se encuentran: la incorrecta interpretación de las dimensiones de los instructivos por parte del personal, deficiente adherencia de los tubos por falta de calor en el proceso de termocontracción, el corte defectuoso de la capa semiconductora, daños en la superficie del aislamiento principal (ya sea por marcas dejadas luego del corte de la semiconductora o por lijado inadecuado), incorrecta aplicación de la masilla selladora antihumedad.

Otras deficiencias encontradas y no detalladas en esta publicación son: defectos en la instalación de las aletas en los accesorios de exterior (menor cantidad o a distancias incorrectas de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes), instalación inadecuada de estas aletas sobre el tubo exterior (dejando espacios entre la superficie del tubo y la aleta misma).

Aún con una incorrecta construcción, es altamente probable que el terminal inicialmente soporte los ensayos de puesta en marcha, pero los defectos que aquí se han mencionado degradan en el tiempo los aislamientos y provocan fallas que generan grandes inconvenientes.

Estos defectos son fácilmente solucionables si se entrena adecuadamente al personal que confecciona los terminales. Pareciera que la facilidad de construcción que tienen estos productos atenta contra la atención y el cuidado que se le presta, dejando la labor a personal sin la calificación apropiada para este tipo de elementos.

7 REFERENCIAS

- [1] IEEE Std 1816-2013 IEEE Guide for Preparation Techniques of Extruded Dielectric, Shielded Cables Rated 2.5 kV through 46 kV and the Installation of Mating Accessories.
- [2] Theodore A. Balaska, James D. Medek, CHAPTER 12 "SPLICING, TERMINATING, AND ACCESSORIES", Electrical Power Cable Engineering. Ed. William A. Thue, MARCEL DEKKERIN 1999.
- [3] "Analysis of Joint & Termination Failures on Extruded Dielectric Cables. A Report of the Accessories Subcommittee of the Insulated Conductors Committee". IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 12, December 1984.